

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

ROSTISLAV ŠIMEK

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kontrola vypínacích charakteristik digitální
ochrany SPAU 330 C5

Supervision of Switching-off
Characteristic of Digital Protection
SPAU 330 C5

2013

ROSTISLAV ŠIMEK

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Rostislav Šimek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Kontrola vypínacích charakteristik digitální ochrany SPAU 330 C5**
Supervision of Switching-off Characteristic of Digital Protection SPAU 330 C5

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění se zaměřením na napěťové ochrany.
2. Popis digitální ochrany SPAU 330 C5.
3. Kontrola vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5.
4. Zhodnocení naměřených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava, 2004.
2. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
3. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
4. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
5. Firemní literatura a katalogy firmy ABB, s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29.4.2013.

Podpis Šimela.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení a cenné rady při jejím vypracovávání a poskytnutí odborné literatury.

ABSTRAKT

V této bakalářské práci jsem se seznámil s digitální ochranou SPAU 330 C5. Postupně jsem se zabýval funkcemi ochrany, jejím ovládáním, nastavením a použitím. Bakalářskou práci jsem rozdělil na úvod, čtyři kapitoly a závěr. V první kapitole jsem provedl teoretický rozbor ochrany a jistění se zaměřením na napětíové ochrany. V další kapitole jsem popsal digitální ochranu SPAU 330 C5. Kapitola třetí je zaměřena na kontrolu vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5. Poslední kapitola obsahuje zhodnocení naměřených výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální ochrana, vypínací charakteristika, ochranný modul, přepětíový a podpětíový stupeň, doba působení.

ABSTRACT

In this bachelor work, I was familiar with the digital protection SPAU 330 C5. Gradually I dealt with its functions, control, setup and use. I was divided this bachelor work into an introduction, four chapters and a conclusion. In the first chapter, I performed a theoretical analysis of protection and safeguards, with a focus on the voltage protection. In the next chapter I described the digital protection SPAU 330 C5. The third chapter is focused on controlling the tripping characteristics module SPCU 3C14 digital protection SPAU 330 C5. The last chapter contains the evaluation of the measured results.

KEY WORDS

Digital protection, switching-off characteristic, protection module, overvoltage and undervoltage stage, action time.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAKŮ A SYMBOLŮ

GND	uzemnění	
I	proud	(I)
P_D	dovolený prostor	
P_Z	zakázaný prostor	
S	spotřeba	(W)
SG1	nastavitelný spínač	
SS1	startovací čas	
SS2	startovací čas	
TS1	vypínací čas	
TS2	vypínací čas	
U	napětí	(V)
$U >$	startovací napětí přepětíového stupně	(V)
$U <$	startovací napětí podpětíového stupně	(V)
W	akumulovaná energie	(J)
Z	impedance	(Ω)
a	konstanta	
b	konstanta	
c	konstanta	
h_0	hranice mezi dovoleným a zakázaným prostorem	
$k >$	časový násobitel	
n	nastavení parametrů	
p	konstanta	
$p(t)$	vstup chráněného objektu	
ss	stejnoseměrná veličina	
st	střídavá veličina	
t	doba působení	(s)
t_N	nastavený čas	(s)
t_M	měřený čas	(s)
t_V	vypočítaný čas	(s)
$v(t)$	vstup ochrany	
$y(t)$	výstup ochrany	
$x(t)$	ovládání objektu	
$z(t)$	výstup chráněného objektu	
Δ	absolutní chyba ochrany	(s)
δ	relativní chyba ochrany	(%)

OBSAH:

Úvod.....	1
1 Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na napěťové ochrany	2
1.1 Ochrana	2
1.2 Chráněný objekt	3
1.3 Poruchy	4
1.3.1 Zkrat	4
1.3.2 Zemní spojení	4
1.3.3 Přetížení	5
1.3.4 Přepětí a podpětí	5
1.3.5 Nesouměrné zatížení	5
1.3.6 Zvýšení a snížení kmitočtu	5
1.3.7 Zpětný tok výkonu	6
1.3.8 Znečištění izolace	6
1.3.9 Náhodné poruchy	6
1.4 Vypínací charakteristiky	6
1.5 Základní členy ochrany	7
1.5.1 Vstupní člen	7
1.5.2 Rozběhový (popudový) člen	7
1.5.3 Měřicí člen	7
1.5.4 Logika	8
1.5.5 Časový člen	8
1.5.6 Koncový člen	8
1.5.7 Napájecí člen	9
1.6 Požadavky kladené na ochrany	9
1.6.1 Citlivost ochran	10
1.6.2 Přesnost ochran	10
1.6.3 Rychlost vybavení	10
1.6.4 Selektivita ochran	10
1.6.5 Spolehlivost	11
1.6.6 Snadná údržba	11
1.7 Rozdělení ochran	11
1.8 Napěťová ochrana	13

1.9	Druhy jisticích přístrojů	15
1.9.1	Pojistky	15
1.9.2	Jističe	15
1.9.3	Relé	17
2	Popis digitální ochrany SPAU 330 C5	18
2.1	Charakteristické vlastnosti ochrany SPAU 330 C5	18
2.2	Použití ochrany SPAU 330 C5	19
2.3	Popis funkce ochrany SPAU 330 C5	19
2.4	Charakteristické vlastnosti modulu SPCU 3C14	20
2.5	Popis funkce modul SPCU 3C14	21
2.6	Charakteristika čas/napětí	22
2.7	Technické parametry modulu SPU 3C14	23
3	Kontrola vypínacích charakteristik modulu SPU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5	24
3.1	Přepět'ový stupeň	25
3.1.1	Časově závislá charakteristika A	25
3.1.2	Časově závislá charakteristika B	27
3.1.3	Časově nezávislá charakteristika	29
3.2	Podpět'ový stupeň	32
3.2.1	Nezávislá charakteristika	32
4	Zhodnocení naměřených výsledků	34
	Závěr	35
	SEZNAM OBRÁZKŮ	36
	SEZNAM TABULEK	37
	POUŽITÁ LITERATURA	38

Úvod

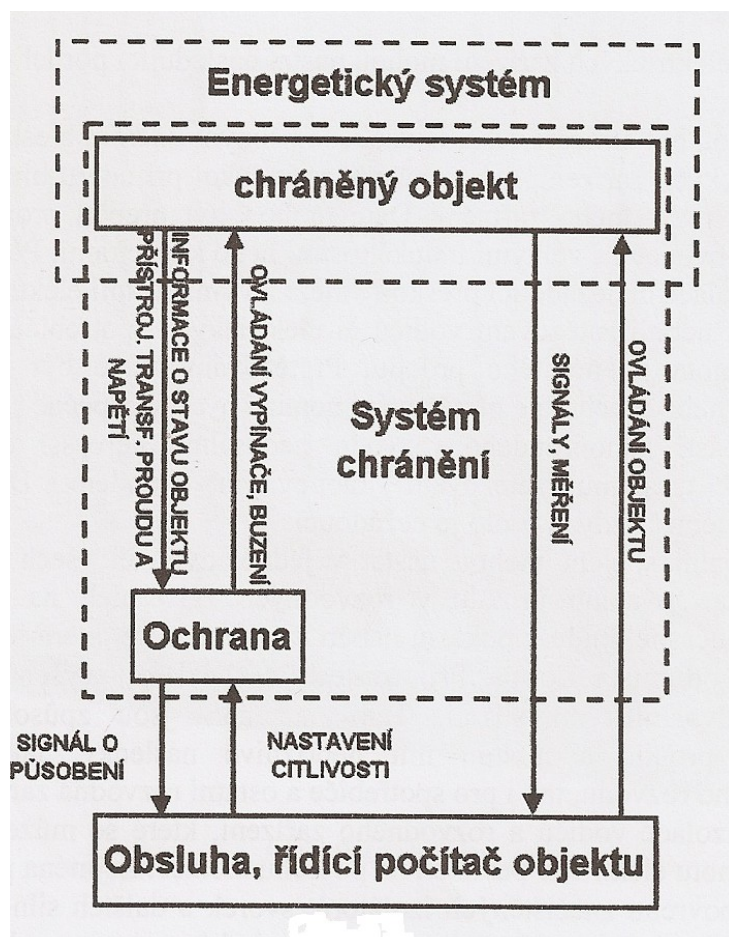
Elektrizační soustava se skládá ze souboru zařízení pro výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Nedílnou součástí elektrizační soustavy z hlediska zabezpečení spolehlivosti provozu je taktéž systém chránění. Elektrická ochrana je jednou z jeho součástí. Při provozu elektrizační soustavy může dojít ke vzniku nežádoucích poruchových stavů. Poruchovým stavům se snažíme zamezit nebo je úplně eliminovat. Zařízení, které vyhodnocuje poruchový stav, se nazývá elektrická ochrana. Ochrana je prvek, který chrání určité zařízení, zajišťuje provozní spolehlivost a bezpečnost. V dnešní době procházejí elektrické ochrany modernizací. Staré elektromechanické ochrany jsou postupně nahrazovány digitálními mikroprocesorovými ochranami.

Základní pojmy z teorie ochran, rozdělení jednotlivých ochran a popis základních členů ochrany jsou uvedeny v první kapitole. Druhá kapitola popisuje charakteristické vlastnosti, funkci digitální ochrany SPAU 330 C5 a její ochranný modul SPCU 3C14. Kapitola třetí je zaměřena na kontrolu závislých a nezávislých vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5. Poslední kapitola obsahuje zhodnocení naměřených výsledků.

1 Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na napět'ové ochrany

1.1 Ochrana

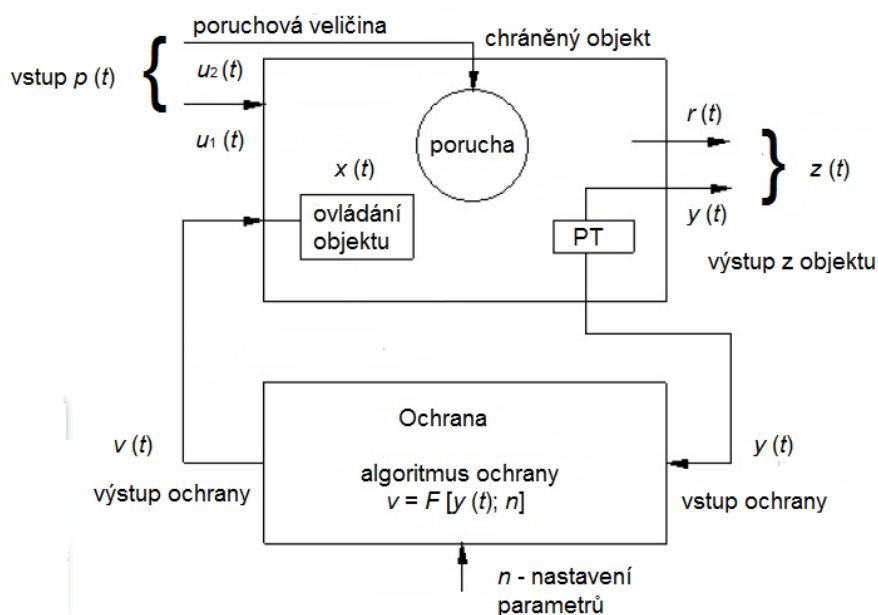
Ochrana je zařízení, které je navrženo ke kontrole chodu určitého energetického systému. Jedná se o nedílnou součást systému chránění. Hlavní úlohou ochrany je rozhodnout, zda se jedná o poruchový nebo dovolený provozní stav, na základě vstupních informací a nastavených parametrů. Vstupní informace o stavu jednotlivých veličin chráněného objektu se nejčastěji získává pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, čidel nebo elektronických převodníků. Pokud ochrana identifikuje uvnitř chráněného objektu poruchový stav, musí dát povel na vypnutí a signalizuje obsluze abnormální provozní stav. Na *obr. 1.1* je zakresleno blokové schéma vzájemné spolupráce mezi chráněným objektem a ochranou. [3]



Obr. 1.1 Schéma spolupráce mezi chráněným objektem a ochranou [3]

1.2 Chráněný objekt

Chráněný objekt je zařízení, které je schopné přenášet energii v rámci svého okolí. Ochrana zajistí, aby objekt při své funkci nepřekročil meze normálního působení. Překročení těchto mezí by způsobilo poškození objektu. Pomocí stavových veličin můžeme definovat okamžitou funkci chráněného objektu. Stavová veličina chráněného objektu je fyzikální veličina. Její velikost popisuje současné chování objektu. V oboru ochran nejčastěji užíváme tyto veličiny: napětí, proud, okamžitý výkon, kmitočet, teplota v určitých místech objektu, mechanické rychlosti a mechanické síly.



Obr. 1.2 Schéma chráněného objektu

Stav objektu $x(t)$ je soubor stavových veličin objektu. Je zapsán ve tvaru vektoru.

$$x(t) = \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Vstup objektu $p(t)$ je vektor veličin, kterým působí okolí na chráněný objekt.

$$p(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

kde: $v(t)$ jsou vstupy ovládané ochranou

$u(t)$ jsou vstupy, které ochrana nemůže ovlivnit

Výstup objektu $z(t)$ je vektor veličin chráněného objektu, kterými působí na okolí.

$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ r(t) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

kde: $y(t)$ je vektor výstupů měřených ochranou a současně vstupem ochrany
 $r(t)$ jsou ostatní výstupy neměřené ochranou.

Porucha je taková fyzikální změna na objektu nebo na veličinách, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního chodu. [3]

1.3 Poruchy

Při provozu silnoproudého elektrického rozvodu mohou nastat stavy, které mohou být pro provoz nebezpečné. Může vzniknout elektrické, tepelné i mechanické ohrožení izolace vodičů i ostatních elektrických zařízení. Také může dojít k ohrožení bezpečnosti osob, které pracují na tomto zařízení. Tyto stavy jsou nežádoucí, proto se je snažíme pomocí ochrany eliminovat. V provozu elektrických zařízení mohou nastat následující poruchy [3]:

1.3.1 Zkrat

Zkrat je vzájemné spojení dvou nebo tří fází. Projevuje se tak, že se zvýší hodnota zatěžovacího proudu na několikanásobek jmenovité hodnoty. Zároveň ale dojde k poklesu napětí v takové míře, která je nepřímo úměrná elektrické vzdálenosti od místa zkratu. Tento nežádoucí jev může být způsoben například únavou izolace, vlivem počasí, mechanickým poškozením a špatnou manipulací. Zkrat způsobuje tepelné i silové namáhání elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení. [3]

1.3.2 Zemní spojení

Zemní spojení je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti, kde je izolovaný uzel, popřípadě nepřímo uzemněný uzel (uzel uzemněný přes odpor) nebo kompenzovaný uzel (uzel uzemněný přes proměnlivou tlumivku). Ke kompenzaci kapacitních proudů v síti s izolovaným uzlem můžeme použít Bauchův transformátor. Při přerušovaném zemním spojení (uhasíná oblouk proudu v nule a následně při rychlém nárůstu zotaveného napětí, kdy dochází k zapalování oblouku) hrozí nebezpečí vzniku přepětí. Zemní spojení také může přejít v následný zkrat. [3]

1.3.3 Přetížení

Při přetížení prochází zařízením příliš velká energie. Vodiče nebo elektrické spotřebiče a zařízení přetížíme, pokud jimi protéká proud, větší než je hodnota jmenovitého proudu. Rozlišujeme dva druhy přetěžování, krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé nebo přechodné přetěžování není vždy nebezpečné. Rozhodujícím parametrem je teplota vodičů či jiných částí silnoprůdného rozvodu. Důležité je, aby teplota nedosáhla nejvyšší dovolené provozní teploty, která odpovídá trvalému zatěžování jmenovitým proudem. Dlouhodobé přetěžování je nebezpečné téměř vždy, proto je nežádoucí. Způsobuje především tepelná i mechanická poškození elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení a podstatně urychluje stárnutí izolace. [3]

1.3.4 Přepětí a podpětí

Atmosférické přepětí může být způsobeno úderem blesku do vedení, či do některých částí elektrických zařízení nebo také indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů a jiných částí rozvodného zařízení. Provozní přepětí jsou způsobena spínacími pochody v obvodech s velkými indukčnostmi nebo kapacitami. Přepětí mohou způsobit proražení izolace a nežádoucí přeskoky mezi živými částmi elektrických zařízení. Hrozí i nebezpečí vzniku zkratu. Při podpětí dochází k proudovému přetěžování, pokud je zařízením odebrán konstantní výkon. Nejčastěji bývá způsobeno nedostatečnou kompenzací, poruchou regulace napětí nebo přetížením. [3]

1.3.5 Nesouměrné zatížení

Nesouměrné zatížení je provozní stav, kdy nejsou jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) zatěžovány stejným proudem. Vznikne zpětná složka proudu, jenž vytvoří magnetické pole otáčející se opačným směrem a dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru. V rotoru dochází k indukci vířivých proudů a jejich průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat a tím může dojít i k jeho přehřátí. Tento poruchový stav je vyvolán přerušením některé fáze nebo nesouměrností zátěže. [3]

1.3.6 Zvýšení a snížení kmitočtu

Ke zvýšení frekvence dochází obvykle při poruše regulace výkonu. Působí především mechanicky na chráněné zařízení i připojené stroje. Pokles frekvence je způsoben přetížením zdrojů energie v síti. Důsledkem snížení kmitočtu je nárůst magnetizačních proudů, tím se zvětší ztráty a oteplení. [3]

1.3.7 Zpětný tok výkonu

Zpětný tok výkonu je nebezpečný hlavně pro připojené točivé stroje, může dojít i k jejich zničení. Typickým příkladem této poruchy je přenos energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě. Zpětný tok výkonu může být vyvolán ztrátou výkonu pohonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě. [3]

1.3.8 Znečištění izolace

Jestliže je znečištěna izolace vodičů a rozvodného zařízení, může dojít ke zmenšení elektrické pevnosti povrchu izolace. Při větší vlhkosti prostředí se na povrchu znečištěných izolátorů, svorek a dalších silnoprůdových zařízeních částečně vytváří vodivá vrstva, která může vést až k přeskokům po povrchu izolace. Po jediném či opakovaném přeskoku se může místo přeskoků stát i trvale vodivým spojením, které lze odstranit dokonalým vyčištěním izolace. [2]

1.3.9 Náhodné poruchy

Do této skupiny poruch patří například námraza, pád větví, stromů a další. Vzniknou buď selháním technického zařízení, nebo vlivem neočekávaných klimatických změn, eventuálně chybným zásahem člověka či zásahem zvířat u venkovního provedení. [2]

1.4 Vypínací charakteristiky

Jedná se o charakteristiky, z nichž můžeme odečíst dobu, po kterou zařízení snese určitý nadproud bez poškození. Jističí přístroj je navržen tak, aby vypínací čas odpovídal velikosti proudu přetížení. Požadovanou závislost získáme konstrukcí tzv. vypínací charakteristiky. Vypínací charakteristika jističného objektu je křivka, která definuje dobu dosažení maximální dovolené teploty při různých velkých nadproudech přetížení. Vypínací charakteristiku jističího přístroje odvozujeme z vypínací charakteristiky jističného objektu. Čím více se jednotlivé vypínací charakteristiky navzájem blíží, tím je jističení dokonalejší. Vypínací charakteristika skutečného jističího přístroje má na vodorovné ose vyneseny násobky jmenovitého proudu, které představují přetížení. Na svislé stupnici je vynesena čas, aby nedošlo k mylné představě časového průběhu proudu. Charakteristiky jsou obvykle tvořeny více čarami, které představují pásmo vypínání. Existují i vypínací charakteristiky jističího přístroje tvořené jen jednou čarou. Tato čára představuje střední hodnotu, okolo níž je vypínací pásmo jističího přístroje. Tyto časově závislé charakteristiky jističích přístrojů se používají proti přetížení. Proti zkratu se používají jističí přístroje na elektromagnetickém principu, jejichž vypínací charakteristika je časově nezávislá. Časově nezávislá charakteristika se vyznačuje tím, že jističí přístroj vypíná různě velké nadproudy za stále stejnou dobu. [3]

1.5 Základní členy ochrany

Elektrická ochrana je složena z několika jednotlivých částí. Jejich počet a druh je závislý na typu ochrany. Mezi základní části ochrany patří vstupní člen, rozběhový člen, měřicí člen, logika, časový člen, koncový člen, napájecí člen. V provozu je běžné, že ochrana nemusí obsahovat všechny uvedené části. [1]

1.5.1 Vstupní člen

Vstupní člen elektrické ochrany převádí pomocí bočníků, děličů a transformátorů kontrolovanou veličinu na požadovaný tvar a úroveň pro zpracování. Jmenovité vstupní hodnoty ochrany jsou 100 V, 5 A nebo 1 A. Vstupní napětí a proud je přiváděn do ochrany přes přístrojové transformátory, které galvanicky oddělují vnitřní obvody ochrany od okolí a chrání je před elektromagnetickým rušením. Měřicí členy ochrany pracují s napětím a proudem v řádech voltů a miliampérů. Pokud měřicí člen pracuje se stejnosměrným signálem, obsahuje vstupní člen navíc usměrňovač. U digitálních ochran je vstupní člen tvořen A/D převodníkem, který vzorkuje a převádí vstupní veličinu z analogového tvaru na číslicový tvar. [1]

1.5.2 Rozběhový (popudový) člen

Při vzniku poruchy uvede rozběhový (popudový) člen ochranu a její dílčí členy do činnosti. Každá ochrana obsahuje tento prvek. Popudový člen má velkou citlivost na kontrolovanou veličinu, aby byla zajištěna podmínka spolehlivé činnosti ochrany jako celku. Rozběhový člen může sledovat i více veličin chráněného objektu a může mít různé charakteristiky chránění. [1]

1.5.3 Měřicí člen

Měřicí člen vyhodnocuje poruchu v objektu. Určuje hranici mezi dovoleným P_d a zakázaným P_z prostorem, tzv. charakteristiku h_0 . Funkci měřicího členu můžeme popsat pomocí Booloví algebry. Tento člen má značný vliv na selektivitu, citlivost a přesnost ochrany. Oblast, ve které ochrana působí je určena použitým měřicím členem (principem měření).

Měřicí členy můžeme rozdělit do dvou skupin [1]:

- a) amplitudové
 - nezávislý měřicí člen
 - závislý měřicí člen
 - rozdílový měřicí člen

- součtový měřicí člen
- amplitudový komparátor

b) fázové

- fázový měřicí člen
- fázový komparátor

1.5.4 Logika

Logika určuje na základě signálů z měřicího a časového členu činnost koncového členu. Všechny vstupy a výstupy logiky jsou popsány logickými jedničkami nebo nulami. Struktura logiky je popsána základními booleovskými funkcemi součtu, součinu a negace. Logické obvody mohou být realizovány pomocí klasických relé, diod, tranzistorů, integrovaných obvodů nebo technickým (hardware) a programovým (software) vybavením u číslicového procesoru. [1]

1.5.5 Časový člen

Časový člen slouží k ovlivnění doby působení elektrické ochrany. Zajišťuje úmyslné časové zpoždění ochrany, které se využívá v těchto důvodech [1]:

a) zajištění selektivity

- zpoždění základní ochrany umožňuje funkci záložní ochraně, která je blíže k poruše

b) akumulace energie v objektu

- úmyslně přetížíme chráněný objekt, ale nesmí dojít k jeho ohrožení

c) vyloučení chybného působení ochrany

- vylučuje chybné působení ochrany při vzniku přechodných poruchových jevů krátkého trvání

1.5.6 Koncový člen

Koncový člen ochrany je obvykle tvořen klasickým relé s výkonovými kontakty. Má za úkol přivést napětí na jednu ze dvou ovládacích cívek výkonostního vypínače. Kontakty výstupních obvodů koncového členu musí mít dostatečně velkou proudovou zatížitelnost. Koncový člen musí mít dostatečně vysokou úroveň a odolnost proti vnějšímu rušení. [1]

1.5.7 Napájecí člen

Napájecí člen dodává napětí jednotlivým částem ochrany, které pro svoji činnost potřebují pomocný zdroj energie. Napájení dílčích obvodů ochrany může být zajištěno těmito způsoby [1]:

- a) Ochrany bez napájení
 - tento druh ochrany pro svoji činnost nepotřebuje pomocné napětí
- b) Ochrany napájené ze staniční akumulátorové baterie
 - jedná se o nejčastější způsob napájení elektromechanických ochrany
 - baterie vyžaduje dokonalou a náročnou údržbu ale je velmi spolehlivá
- c) Napájení ze střídavé sítě
 - spolehlivost zdrojů ve střídavé síti je podstatně horší než u akumulátorových baterií
- d) Napájení z přístrojových transformátorů
 - využívá se v případech, kdy není k dispozici akumulátorová baterie
 - při vzniku poruchy, poklesne napětí chráněného objektu a zvýší se protékající proud, proto je výhodnější použít přístrojový transformátor proudu
- e) Napájení přes stabilizátor
 - využívá se hlavně pro napájení tranzistorových a číslicových ochrany
 - stabilizátor zajišťuje lepší stabilizaci a filtraci napájecího napětí
- f) Galvanické oddělení
 - kombinace střídače a usměrňovače zajistí dokonalou ochranu proti rušení
 - napětí ze staniční baterie je přivedeno do střídače, transformátor zajistí galvanické oddělení obvodu, na konci napáječe je umístěn usměrňovač a stabilizátor

1.6 Požadavky kladené na ochrany

Jakost ochrany a vhodnost jejího použití pro daný objekt hodnotíme podle toho, jak splňuje jednotlivé požadavky, které jsou na ni kladeny. Důležitost požadavku záleží na druhu chráněného objektu, na způsobu provozu i na okolní soustavě. Požadavky na ochrany jsou tyto:

1.6.1 Citlivost ochran

Citlivost ochrany je schopnost reagovat na poruchy, které se vyskytují v chráněném pásmu, na něž je ochrana dimenzována. V provozu je hodnota stavové veličiny, při které ochrana reaguje nižší než hodnota poruchové veličiny. [1]

1.6.2 Přesnost ochran

Je to poměrná chyba citlivosti ochrany vyjádřená v procentech. Jakost ochrany se zvyšuje s její přesností. Přesnost definovaná tímto vzorcem [1]:

$$\delta = \left| \frac{x - x_B}{x_A} \right| \cdot 100 \quad (1.4)$$

kde δ je relativní chyba ochrany (%),

x – nastavení citlivosti ochrany,

x_A – rozsah tříditelnosti ochrany,

x_B – skutečná citlivost ochrany.

1.6.3 Rychlost vybavení

Při vzniku poruchových jevů v elektroenergetických soustavách je důležité rychle odpojit porušenou část sítě. Včasným odpojením můžeme zmenšit rozsah poškození. Rychlost působení je dána od vzniku poruchy do vypnutí vypínače. Doba působení se skládá z vlastní doby vybavení ochrany a také z doby, za kterou provede vypínač vypnutí. [2]

1.6.4 Selektivita ochran

Selektivita je schopnost ochrany nereagovat na poruchy soustavy, které jsou mimo chráněný objekt nebo se týkají stavové veličiny objektu, na kterou nemá ochrana působit. Smysl selektivity spočívá v tom, že je vypínán co nejmenší úsek energetické soustavy, který je postižen poruchou, přitom co největší část nepoškozené soustavy zůstane v provozu. Selektivity dosahujeme časovým odstupňováním působení ochran (nadproudové ochrany), porovnáním vybraných veličin na začátku a konci chráněného úseku (rozdílová ochrana), odstupňováním úrovně nastavené veličiny a směrovým nastavením ochran. [1]

1.6.5 Spolehlivost

Ochrany chrání důležitá a poměrně nákladná zařízení, ale i chod elektrizační soustavy. Z toho důvodu klademe důraz na jejich spolehlivost. Protože jsou ochrany dlouhou dobu v nečinnosti a reagují jen při poruše, je nutné periodicky kontrolovat jejich funkci. Spolehlivost ochran lze zvýšit jednoduchou konstrukcí a nahrazením mechanických částí elektrickými a elektronickými prvky obvodů. [2]

1.6.6 Snadná údržba

Spolehlivost ochrany můžeme zvýšit, když budeme provádět periodické revize, při nichž jsou ochrany kontrolovány. Proto je nutná snadná údržba. Poškozená ochrana je při revizi vyměněna za novou nebo opravena. [2]

1.7 Rozdělení ochran

Ochrany můžeme rozdělit hned z několika hledisek [2]:

a) Podle typu chráněného objektu:

generátoru
motoru
transformátoru
přípojnic
vedení
speciální případy (troleje, vypínače a lokomotivní)

b) Podle druhu poruchy:

zkratové
při přetížení
podpět'ové
nadpět'ové
podkmitočtové
nadkmitočtové
při zemním spojení
při zpětném toku výkonu
při ztrátě buzení
při nesouměrnosti

c) Podle funkčního principu:

proudové
napětíové
distanční
rozdílové
srovnávací
wattové
jalové
kmitočtové
při nesouměrnosti

d) Podle doby působení:

mžikové
časově nezávislé
časově závislé

e) Podle konstrukce:

- elektromechanické

Jde se o skupinu nejstarších analogových ochran. Jsou sestaveny z elektromagnetických relé, které mechanicky i elektricky spolupracují. Jejich jednotlivé části jsou pohyblivé. Každá část těchto ochran vykonává pouze jednu funkci. [1]

- elektronické (statické)

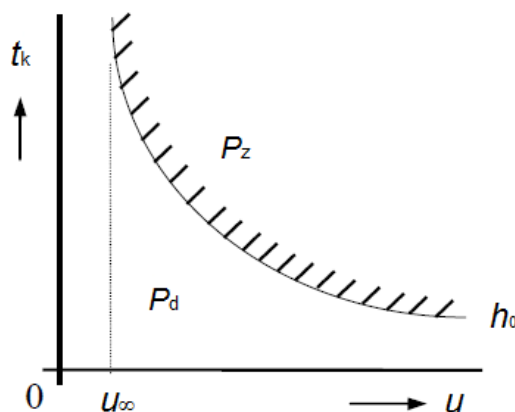
Jsou sestaveny z polovodičů a integrovaných obvodů. Informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena spojitě úrovní některé elektrické veličiny. Tento druh ochran nemá pohyblivé části. Oproti elektromechanickým ochranám mají několik výhod. Mezi ně patří kratší operační čas, vyšší přesnost, menší požadavky na údržbu, realizace složitějších algoritmů, nižší vlastní spotřeba, delší životnost a jejich charakteristiku lze přizpůsobit k potřebám chráněnému objektu. Nevýhodou je nízká odolnost polovodičových součástek proti indukovaným napětím a potřeba tepelné stabilizace elektronických obvodů. [1]

- digitální (číslicové)

Digitální ochrany jsou sestaveny z číslicových (digitálních) obvodů. Informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena pomocí diskrétních hodnot (logické nuly a jedničky). Postupem času se zdokonalují a jsou cenově dostupnější. Umožňují vykonávat složitější a delší úkoly. Mají větší přesnost, dokonalejší selektivitu, lepší zpracování vstupních hodnot a především uživatelský komfort. [1]

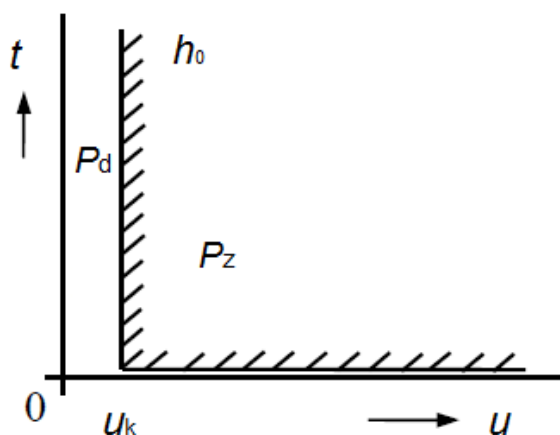
1.8 Napěťová ochrana

Napěťové ochrany můžeme rozdělit na podpěťové a nadpěťové. Podpěťové ochrany reagují při poklesu napětí, pracují pod charakteristikou h_0 a jejich charakteristiky jsou šrafovány opačně než na *obr. 1. 3*. Nadpěťové ochrany působí při zvýšení napětí, pracují nad charakteristikou h_0 .

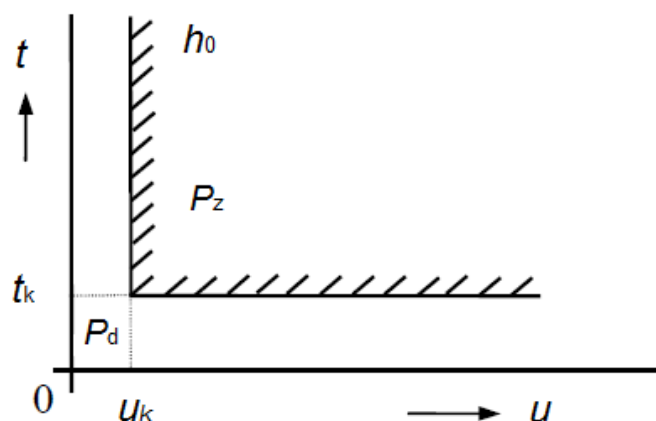


Obr. 1.3 Charakteristika závislé nadpěťové ochrany

Napěťové ochrany dále můžeme rozdělit na mžikové nebo časově závislé a nezávislé. Mžiková ochrana působí ihned při vzniku poruchy, její rychlost je omezená pouze na dobu zpracování informace uvnitř ochrany. Vypínací čas pro dnešní typy mžikových ochran je přibližně 10 ms. Nezávislé ochrany mají předem nastavenou dobu působení. Doba působení není závislá na velikosti napětí. Doba působení závislých ochran je závislá na velikosti měřeného napětí. Čím vyšší je hodnota napětí, tím kratší je doba vypnutí.



Obr. 1.4 Charakteristika nadpěťové mžikové ochrany



Obr. 1.5 Charakteristika nezávislé nadpětíové ochrany

Napětíové ochrany mají v podstatě shodné konstrukční uspořádání jako ochrany proudové. Liší se ale impedancí měřicího článku. Měřicí člen je realizován jako závislý nebo nezávislý. Podle toho volíme měřicí relé.

Vztah pro vstupní veličiny:

$$U = Z \cdot I \quad (1.5)$$

kde Z je vstupní impedance členu

Vztahy pro spotřebu ochrany:

$$S = \frac{U^2}{Z} \quad (1.6)$$

U napětíových ochran se volí maximální vstupní impedance. Tím dosáhneme snížení spotřeby ochrany a nároků na přístrojové transformátory. K poškození objektu nebo jeho členu dochází, pokud tento člen akumuluje víc energie, než odpovídá jeho možnostem. K akumulaci energie dochází při poruchách.

Energetický charakter napětíové ochrany je definován takto:

$$W = \int_0^T \frac{1}{R} \cdot u^2(t) dt \quad (1.7)$$

W - akumulovaná energie

R – odpor objektu

T – doba trvání poruchy

Nadpět'ové ochrany se využívají ke chránění izolace. Podpět'ové ochrany slouží k blokování proudových ochran nebo k ochraně při přetížení podpětím. [2]

1.9 Druhy jistících přístrojů

1.9.1 Pojistky

Pojistky patří mezi nejstarší přístroje, které se používají k ochraně před nadměrnými proudy. Nejdůležitější část pojistky je tavný drátek nebo plíšek, který se při nadměrném proudu přetaví. Tavný drátek je obklopen nejčastěji křemičitým pískem, který je schopen rychle uhasit vzniklý elektrický oblouk, jenž vznikl při roztavení tavného drátku. Mezi hlavní přednosti pojistky patří jednoduchost a spolehlivost, neobsahuje žádný mechanismus. Nevýhodou tavných pojistek je, že jsou určeny jen pro jedno použití. Jestliže dojde k jejímu zničení, musí být pojistková patrona vyměněna za novou. Použití pojistky v trojfázovém rozvodu může být pro některé trojfázové spotřebiče (motory) nebezpečné, jelikož pojistka zajistí vypnutí jen jedné fáze.

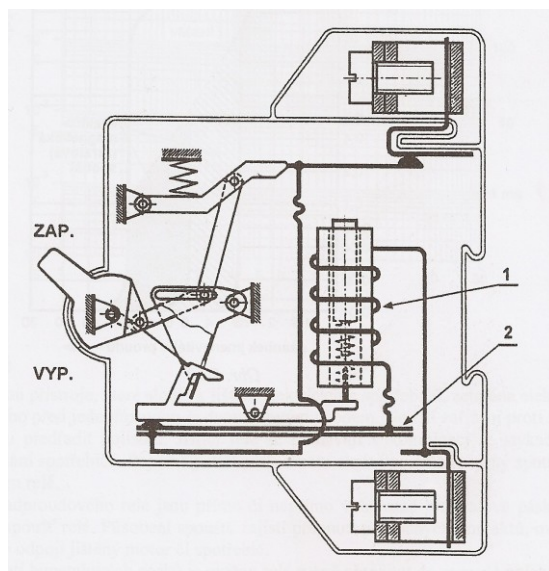
Pojistky můžeme rozdělit na dvě skupiny [3]:

- a) Podle upevnění tavné vložky:
 - závitové
 - nožové
 - s kontaktními praporcei
- b) Podle tvaru vypínací charakteristiky:
 - rychlé, pomalé, normální
 - výkonové

1.9.2 Jističe

Jističe jsou samočinné vypínače, které slouží jako ochrana proti přetížení či zkratu. Jistič je vybaven nadproudovou tepelnou spouští, kterou tvoří nejčastěji bimetalový pásek. Tento pásek je tvořen dvěma kovy, které mají rozdílnou teplotní roztažnost. Procházející zatěžovací proud přímo nebo nepřímo zahřívá bimetalový pásek. Funkce zkratové spouště je založena na principu elektromagnetu, po dosažení určité hodnoty nadproudu dojde k vypnutí. Jističe na rozdíl od výkonových pojistek nemají omezovací schopnosti, proto je můžeme využívat v soustavách, kde se vyskytují velké hodnoty zkratových napětí a proudů. Na rozdíl od pojistek lze jistič po odstranění příčiny znovu zapnout, aniž bychom museli vyměnit jakýkoliv jeho element.

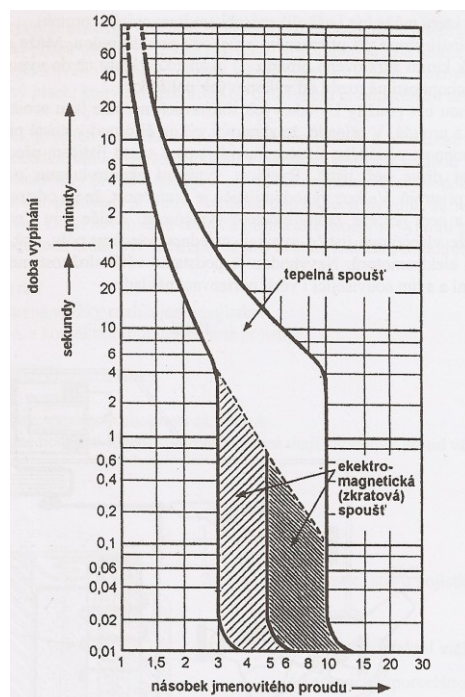
Více pólové jističe se používají v trojfázových soustavách, protože umožňují vypnout všechny fáze zároveň. Nevýhodou jističe je jeho vypínací mechanismus, který je oproti pojistce značně složitější. [3]



Obr. 1.6 Jistič [3]

Vysvětlivky:

- 1 magnetická (zkratová) spoušť
- 2 tepelná (bimetalová, nadproudová) spoušť



Obr. 1.7 Vypínací charakteristika jističe [3]

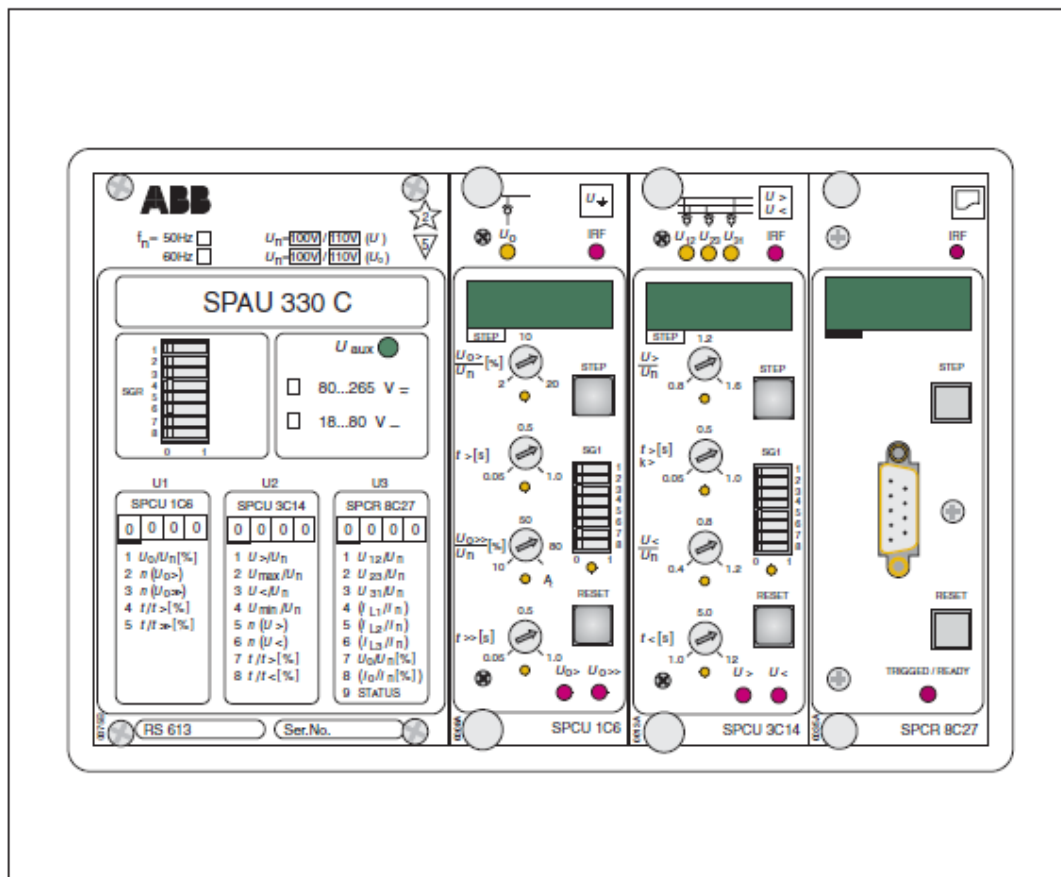
1.9.3 Relé

Relé je určeno k jištění elektrických spotřebičů, zejména elektromotorů před přetížením nebo před jednofázovým či dvoufázovým chodem. Jisticí relé se nejčastěji kombinují se stykači, pomocí kterých dálkově ovládáme spínání spotřebiče. Aby bylo zařízení jištěno i proti zkratu, je nutné použít navíc pojistku, jež chrání před zkratem připojený spotřebič, ale i stykač s nadproudovým relé. Princip nadproudového relé je založen na přímém nebo nepřímém vyhřívání bimetalové pásky, která je umístěna v každé fázi, kde působí spoušť relé. Zapůsobení spouště umožní přepnutí pomocných kontaktů, které ovládají cívku stykače a stykač následně odpojí jištěný spotřebič. Až dojde k vychladnutí bimetalových pásek, můžeme relé ručně přepnout znovu do zapnuté polohy. U některých nadproudových relé se kontakty do zapnuté polohy vrací samy. [3]

2 Popis digitální ochrany SPAU 330 C5

2.1 Charakteristické vlastnosti ochrany SPAU 330 C5

Digitální ochrana SPAU 330 C5 je napěťová ochrana. Zabezpečuje podpětíovou a přepětíovou kontrolu chráněného objektu. Obsahuje ochranné relé, které je určeno pro měření a kontrolu napětí přípojnice rozvodny. Volitelný modul záznamu poruch slouží k ověření konkrétní činnosti chráněného relé, a také pro hodnotovou analýzu činnosti elektrické sítě. Tato ochrana má flexibilní výběr specifických funkcí pro různé aplikace. Číselný displej umožňuje zobrazit nastavené hodnoty, měřené napětí, hodnoty zaznamenaných poruch, atd. Ochrana je schopna obousměrně sériově komunikovat s dalšími zařízeními na úrovni rozvodny, pomocí optické sběrnice. Model je vybaven výkonným softwarem pro nastavení a monitorování ochrany prostřednictvím přenosného počítače. Systém je vysoce spolehlivý a pohotový, jelikož je nepřetržitě samočinně kontrolován hardware a software ochrany s autodiagnostikou. Digitální ochrana je elektromagneticky kompatibilní, a také odolná proti elektrickému a elektromagnetickému rušení. [4]



Obr. 2.1 Přední panel ochrany SPAU 330C [4]

2.2 Použití ochrany SPAU 330 C5

Přepět'ová a podpět'ová ochrana a ochrana proti zbytkovému napětí slouží ke kontrole a zaznamenávání zbytkového napětí a sdružených napětí v přípojnicovém systému. Digitální ochrana SPAU 330C zajišťuje integrovanou ochrannou soustavu. Tato soustava obsahuje dva měřicí ochranné moduly a modul záznamu poruch. Dvoustupňový přepět'ový ochranný modul SPCU 1C6 měří zbytkové napětí soustavy. Kontrolu třífázových sdružených napětí zabezpečuje přepět'ový a podpět'ový ochranný modul SPCU 3C14. Ochranná sestava může být navíc vybavena modulem poruchového zapisovače typu SPCR 8C27. Tento modul je schopen zaznamenávat ochranou naměřená napětí a podmínky, za nichž došlo ke startu jednotlivých ochranných modulů a stupňů. Ochranu je možné připojit ke sběrnici SPA prostřednictvím volitelného modulu pro připojení ke sběrnici. Pak je schopna sériové komunikace na úrovni rozvodny. [4]

2.3 Popis funkce ochrany SPAU 330 C5

Jestliže zbytkové napětí přípojnicové soustavy překročí nastavenou hodnotu stupně nízkého nastavení modulu zbytkového napětí SPCU 1C6, přepět'ový stupeň se aktivuje a současně se spustí příslušný časovací obvod. Po vypršení doby časovacího obvodu modul zašle vypínací signál do výstupních relé. Stupeň vysokého nastavení zbytkového napětí funguje na stejném principu. Jestliže je překročena hodnota navolená na tomto stupni, pak stupeň zajistí spuštění časovacího obvodu a po uplynutí nastaveného operačního času vykoná vypnutí.

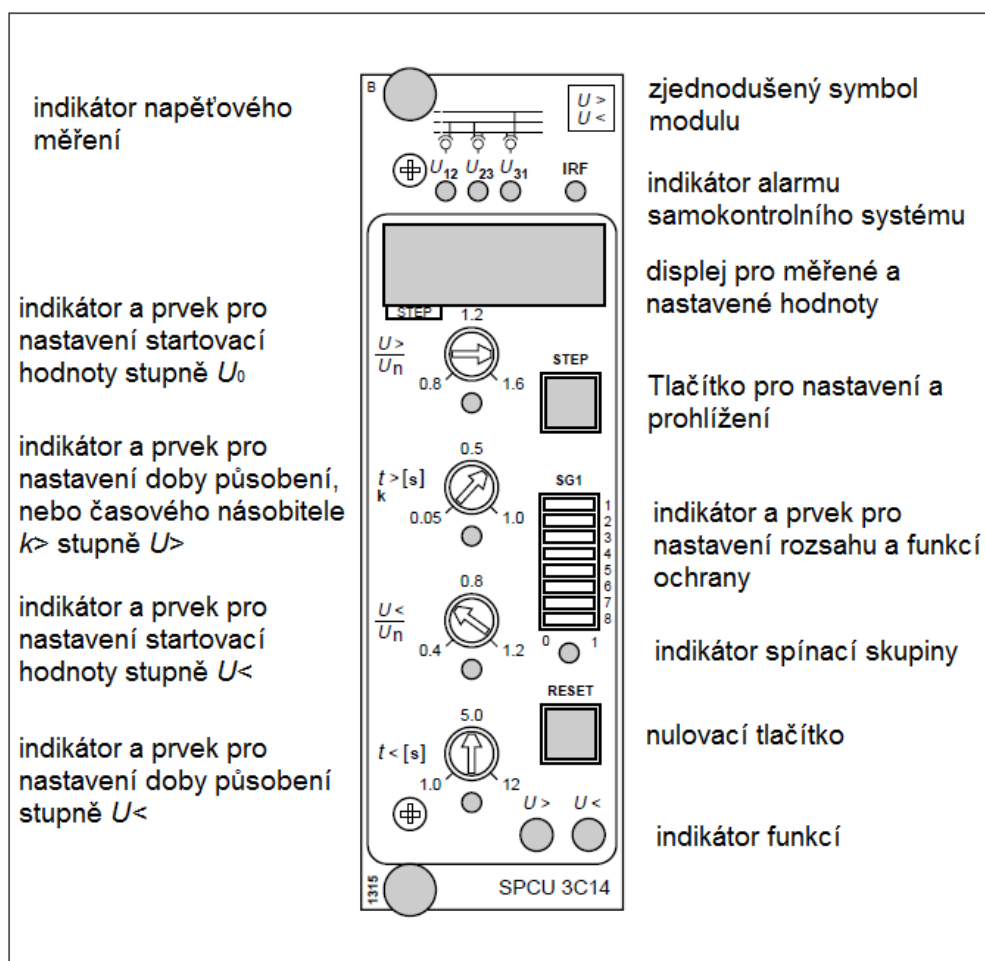
Pokud jedno z napětí měřených podpět'ovým nebo přepět'ovým ochranným modulem SPCU 3C14 přesáhne nastavenou hodnotu přepět'ového stupně, stupeň se nastartuje a po uběhnutí přednastaveného operačního času provede vypnutí. V případě, že jedno z napětí poklesne pod nastavenou hodnotu podpět'ového stupně, dojde následně ke spuštění časovacího obvodu podpět'ového stupně. Až uplyne nastavená doba tohoto obvodu, podpět'ový stupeň zajistí vypnutí.

Jestliže chceme zabránit nežádoucím operacím během sekvence automatického opětovného zapnutí, můžeme starty a vypínání z podpět'ového / přepět'ového modulu SPCU 3C14 blokovat pomocí spínače SG1/6, který nastavíme do polohy 1. Dojde k vyloučení jakékoliv operace stupně $U < v$ případě, kdy měřené napětí poklesne pod hodnotu $0,2 \times U_n$.

Pokud se objeví porucha, modul poruchového zapisovače SPCR 8C27 zapíše průběh zbytkového napětí a sdruženého napětí a starty jednotlivých ochranných modulů. Záznam se obvykle provádí před nebo po poruše. Nahraná data jsou přístupná přes sériové rozhraní RS 232 C nebo přes rozhraní SPA sběrnice. [4]

2.4 Charakteristické vlastnosti modulu SPCU 3C14

Ochranný modul je určen pro měření třífázového napětí, ale může být také naprogramován pro jednofázové aplikace. Charakteristika přepětového členu je buď časově závislá, nebo nezávislá. Při provozním režimu s časově závislou charakteristikou si můžeme zvolit dvě sady křivek, které jsou v závislosti čas/napětí. Podpětový stupeň má časově nezávislou charakteristiku. Tento stupeň může být z vnějšku blokován pomocí vestavěného řídicího vstupu. Pokud dojde ke ztrátě budícího napětí, dojde k automatickému blokování podpětového stupně. Modul ochrany umožňuje digitální zobrazení naměřených hodnot, nastavených hodnot a zaznamenaných poruchových hodnot. V úrovni rozvodny je modul ochrany schopen sériově komunikovat se zařízeními za účelem výměny dat. Hardware a software je neustále monitorován, tím je zajištěná velká spolehlivost a použitelnost. Jestliže vznikne trvalá vnitřní závada, modul ochrany začne vytvářet autodiagnostické kódy závad. [4]



Obr. 2.2 Přední panel modulu SPCU 3C14 [4]

2.5 Popis funkce modul SPCU 3C14

Přepětový a podpětový modul SPCU 3C14 je třífázový ochranný modul, který po naprogramování pomocí spínače SG1/1 může sloužit i pro jednofázové aplikace. Modul obsahuje jak přepětový, tak i podpětový stupeň. Provozní režim přepětového stupně pracuje s časově závislou i nezávislou charakteristikou, zatímco podpětový stupeň jen s časově nezávislou charakteristikou. Jestliže jedno z měřených napětí přesáhne nastavenou startovací hodnotu stupně $U >$, modul pak po uplynutí nastaveného startovacího času vygeneruje startovací signál SS1. Startovací čas tohoto stupně lze navolit pomocí spínače SG1/2. Můžeme nastavit dvě odlišné hodnoty startovacího signálu. První z nich odpovídá době působení $t >$, druhá závisí na úrovni přepětí (u časově závislých charakteristik). Po této době přepětový stupeň vygeneruje vypínací signál TS1. Pracovní (závislou nebo nezávislou) charakteristiku stupně $U >$ navolíme spínačem SG1/3. Pro časově nezávislou charakteristiku můžeme navolit rozsah doby působení spínači SG1/4 a SG1/5. U časově závislé charakteristiky nastavujeme rozsah doby působení spínačem SG1/4. Lze nastavit dvě sady křivek napětí/čas, které se označují A a B. Spínač SG1/5 je bez funkce. V případě, že jedno modulem měřené napětí klesne pod navolenou startovací hodnotu stupně $U <$, ochranný modul po uběhnutí nastaveného startovacího času vygeneruje startovací signál SS2. Startovací doba tohoto stupně se nastavuje spínačem SG1/7. Po uplynutí přednastavené doby $t <$ podpětový stupeň vygeneruje vypínací signál TS2. Spínač SG1/8 je určen pro nastavení délky doby působení. Nežádoucím zásahům zamezíme přepnutím spínače SG1/6 do polohy 1, kdy je startování a působení podpětového stupně zablokováno. Blokovací funkce se spustí, pokud měřený signál poklesne pod hodnotu $0,2 \times U_n$. [4]

Volba funkcí pomocí spínače SG1

SG1/1 = 0 – třífázový režim
 SG1/1 = 1 – jednofázový režim
 SG1/2 = 0 – volba startovacího času přepětového stupně
 SG1/3 = 0 – časově nezávislý režim přepětového stupně
 SG1/3 = 1 – časově závislý režim podle dvou charakteristik
 SG1/6 = 1 – volba automatického blokování podpětového stupně
 SG1/7 = 0 – volba startovacího času podpětového stupně
 SG1/8 = 0 – rozsah doby působení podpětového stupně $1 \div 12$ s
 SG1/8 = 1 – rozsah doby působení podpětového stupně $10 \div 120$ s

Tab. 2-1 Volba funkcí pomocí spínače SG1

SG1/3	SG1/4	SG1/5	Provozní režim	Doba působení $t >$ nebo křivka charakteristiky
0	0	0	časově nezávislý	$0,05 \div 1$ s
0	0	1	časově nezávislý	$0,5 \div 10$ s
0	1	1	časově nezávislý	$5 \div 100$ s
1	0	0	časově závislý	charakteristika A
1	1	0	časově závislý	charakteristika B

2.6 Charakteristika čas/napětí

Doba působení přepět'ového stupně je tím kratší, čím větší je odchylka od nastavené hodnoty při časově závislé charakteristice. Stupeň $U >$ bude pracovat s časově závislou charakteristikou, pokud nastavíme spínač SG1/3 do polohy 1. Závislost mezi časem a napětím v časově závislé charakteristice je následující:

$$t = \frac{k > a}{\left(b \cdot \frac{U - U >}{U >} - 0,5 \right)^p} + c \quad (2.1)$$

kde

t	doba působení (s)
$k >$	časový násobitel
U	naměřené napětí (V)
$U >$	nastavené startovací napětí (V)
a	konstanta 480
b	konstanta 32
c	konstanta 0,03
p	konstanta ($p = 2$ pro charakteristiku A a pro charakteristiku B je $p = 3$)

Zaznamenávání doby působení přepět'ového stupně se spustí, až napětí překročí nastavenou hodnotu o 6 % při časově závislém funkčním režimu. Přesnost, která je uvedena v technických údajích platí, jestliže je nastavené napětí překročeno do 10 %. Přepět'ový stupeň umožňuje volbu dvou charakteristik s různými inverzemi. Charakteristiku si navolíme programovacím spínačem SG1/4. Stupeň inverze je určen faktorem p . [4]

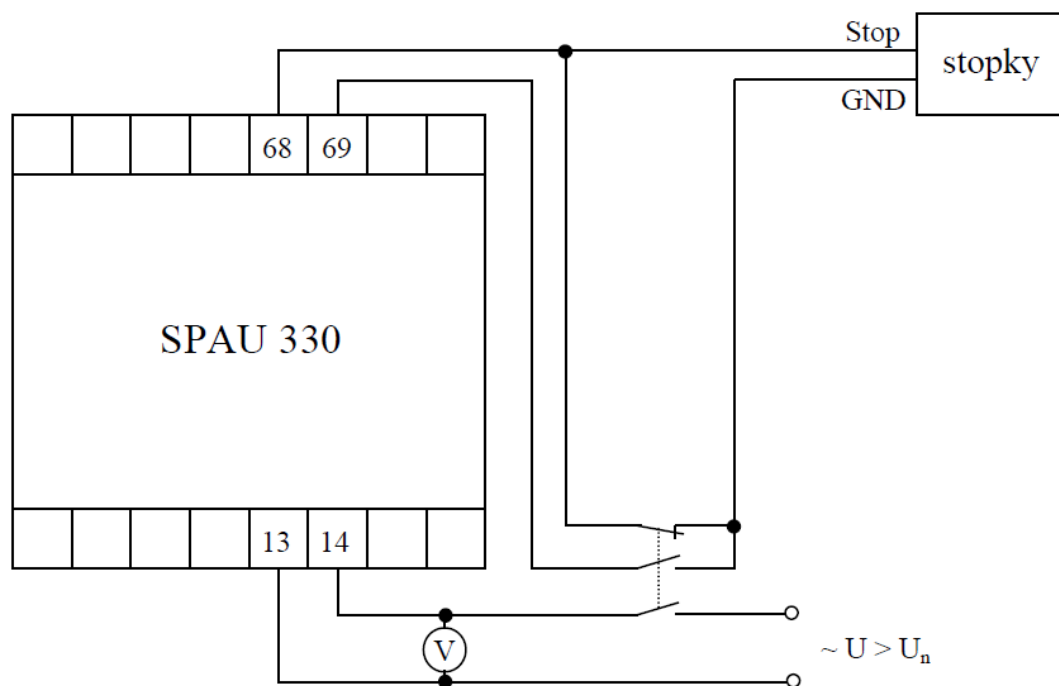
2.7 Technické parametry modulu SPU 3C14

Tab. 2-2 Technické parametry modulu SPU 3C14 [4]

Jmenovité napětí:	100 V
Jmenovitá frekvence:	50 Hz
Pomocné napájecí napětí:	80 ÷ 265 V ss/st
Přepět'ový stupeň $U >$	
Startovací napětí:	$0,8 \div 1,6 \times U_n$
Startovací čas:	$0,1 \div 30 \text{ s}$
Doba působení:	$0,05 \div 100 \text{ s}$
Časový násobitel:	$0,05 \div 1$
Přidržený poměr:	0,97
Přesnost doby působení:	$\pm 2 \%$ nastavené hodnoty nebo $\pm 25 \text{ ms}$
Provozní přesnost:	$\pm 3 \%$ nastavené hodnoty
Podpět'ový stupeň $U <$	
Startovací napětí:	$0,4 \div 1,2 \times U_n$
Startovací čas:	$0,1 \div 30 \text{ s}$
Doba působení:	$1 \div 120 \text{ s}$
Přidržený poměr:	1,03
Přesnost doby působení:	$\pm 2 \%$ nastavené hodnoty nebo $\pm 25 \text{ ms}$
Provozní přesnost:	$\pm 3 \%$ nastavené hodnoty

3 Kontrola vypínacích charakteristik modulu SPU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5

Schéma zapojení:



Obr. 3.1 Schéma zapojení

Použité měřicí přístroje:

Ochrana SPAU 330 C5
Universální měřicí přístroj Mastech MY68
Stopky
Stykač

3.1 Přepětový stupeň

3.1.1 Časově závislá charakteristika A

Tab. 3-1 Hodnoty pro časově závislou charakteristiku A

$U >$	U	t_V	t_M	Δ	δ
(V)	(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
100	155	1,67	1,67	0,01	0,60
100	150	2,03	2,03	0,00	0,99
100	145	2,51	2,52	0,01	0,40
100	140	3,20	3,22	0,02	0,63
100	135	4,22	4,26	0,04	0,95
100	130	5,83	5,89	0,06	1,03
100	125	8,56	8,67	0,11	1,29
100	120	13,82	14,03	0,21	1,52
100	115	25,99	26,45	0,46	1,77
100	110	65,87	67,20	1,33	2,02

Tab. 3-2 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky A

$k >$	a	b	c	p
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	480	32	0,03	2

Příklad výpočtu:

Vypočítaný vypínací čas:

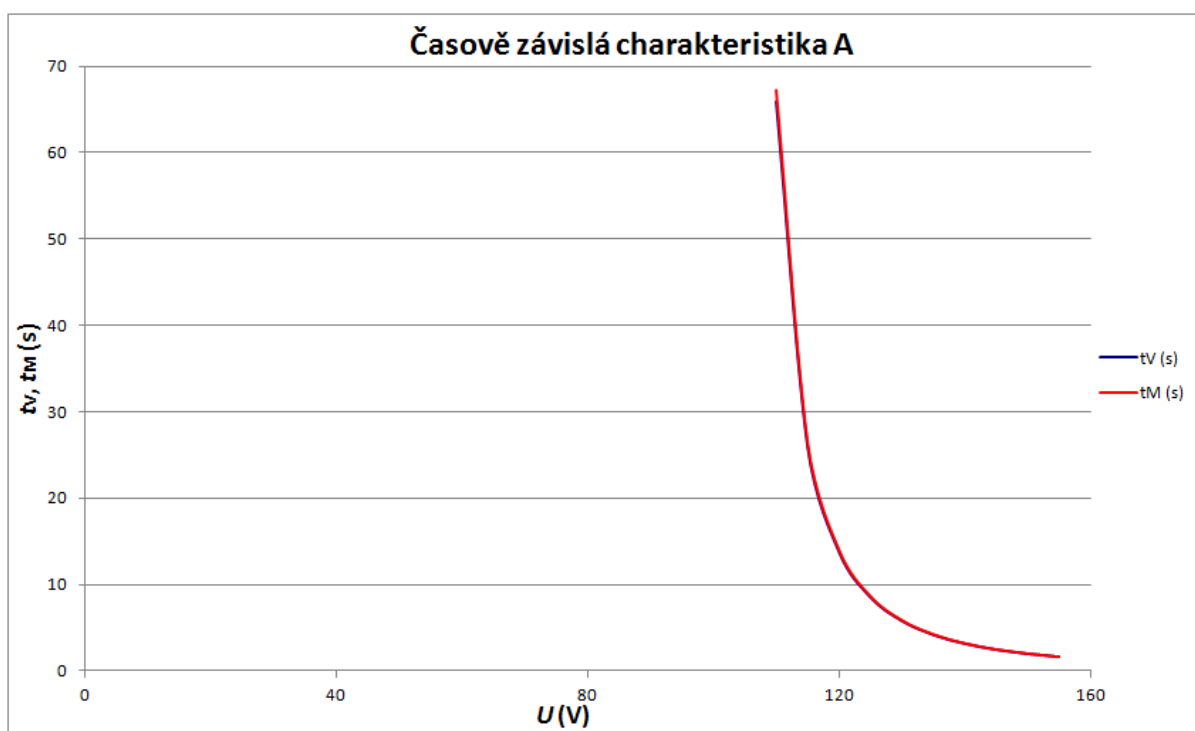
$$t_V = \frac{k > a}{\left(b \cdot \frac{U - U >}{U >} - 0,5\right)^p} + c = \frac{1 \cdot 480}{\left(32 \cdot \frac{110 - 100}{100} - 0,5\right)^2} + 0,03 = 65,87 \text{ s} \quad (3.1)$$

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_V - t_M| = |65,87 - 67,20| = 1,33 \text{ s} \quad (3.2)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_V} \cdot 100 = \frac{1,33}{65,87} = 2,02 \% \quad (3.3)$$



Obr. 3.2 Časově závislá charakteristika A

3.1.2 Časově závislá charakteristika B

Tab. 3-3 Hodnoty pro časově závislou charakteristiku B

$U>$	U	t_V	t_M	Δ	δ
(V)	(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
100	155	0,13	0,13	0,00	0,00
100	150	0,16	0,16	0,00	0,00
100	145	0,21	0,21	0,00	0,00
100	140	0,29	0,29	0,00	0,00
100	135	0,42	0,42	0,00	0,00
100	130	0,67	0,68	0,01	1,49
100	125	1,17	1,18	0,01	0,85
100	120	2,37	2,40	0,03	1,27
100	115	6,07	6,17	0,1	1,65
100	110	24,42	24,89	0,47	1,92

Tab. 3-4 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky B

$k>$	a	b	c	p
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1	480	32	0,03	3

Příklad výpočtu:

Vypočítaný vypínací čas:

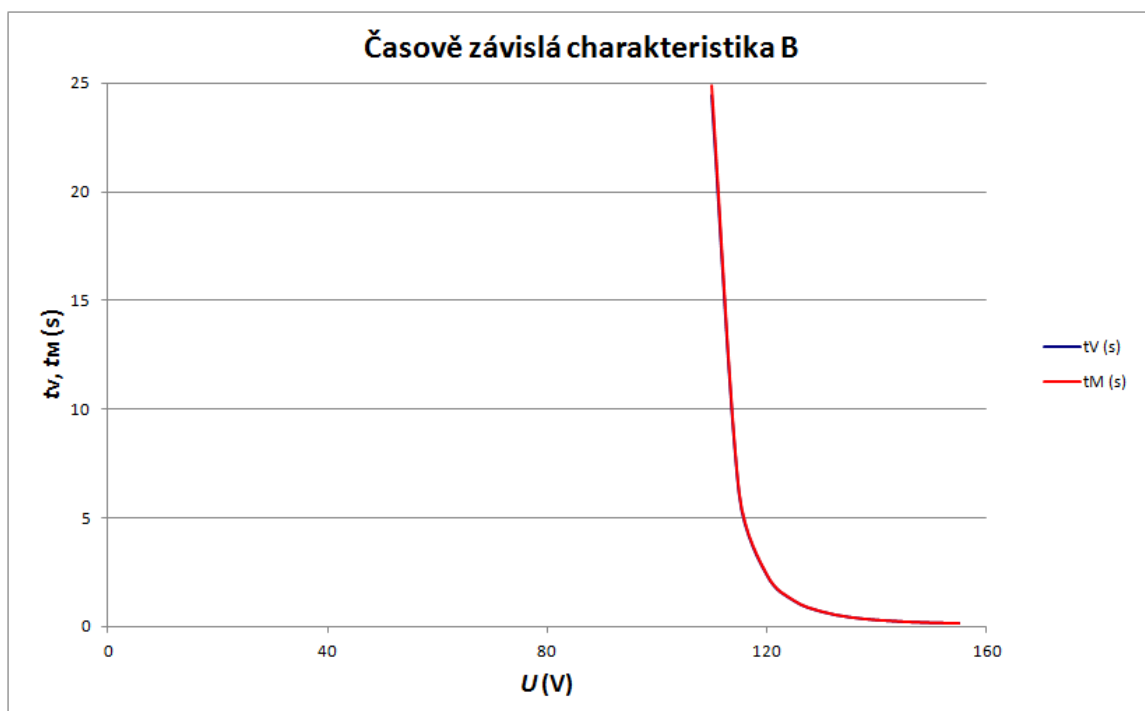
$$t_V = \frac{k > a}{\left(b \cdot \frac{U - U >}{U >} - 0,5\right)^p} + c = \frac{1 \cdot 480}{\left(32 \cdot \frac{110 - 100}{100} - 0,5\right)^3} + 0,03 = 24,42 \text{ s} \quad (3.4)$$

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_V - t_M| = |24,42 - 24,89| = 0,47 \text{ s} \quad (3.5)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_V} \cdot 100 = \frac{0,47}{24,42} = 1,92 \% \quad (3.6)$$



Obr. 3.3 Časově závislá charakteristika B

3.1.3 Časově nezávislá charakteristika

Tab. 3-5 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $100 \div 10$ s

U	t_N	t_M	Δ	δ
(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
150	100	102,1	2,10	2,10
150	90	91,54	1,54	1,71
150	80	81,22	1,22	1,53
150	70	70,66	0,66	0,94
150	60	60,45	0,45	0,75
150	50	50,33	0,33	0,66
150	40	40,21	0,21	0,53
150	30	30,07	0,07	0,23
150	20	20,03	0,03	0,15
150	10	10,01	0,01	0,10

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_N - t_M| = |10 - 10,01| = 0,01 \text{ s} \quad (3.7)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_N} \cdot 100 = \frac{0,01}{10} = 0,10 \% \quad (3.8)$$

Tab. 3-6 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $10 \div 1$ s

U	t_N	t_M	Δ	δ
(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
150	10	10,21	0,21	2,10
150	9	9,18	0,18	2,00
150	8	8,11	0,11	1,38
150	7	7,13	0,13	1,86
150	6	6,09	0,09	1,50
150	5	5,07	0,07	1,40
150	4	4,04	0,04	1,00
150	3	3,03	0,03	1,00
150	2	2,01	0,01	0,50
150	1	1,02	0,02	2,00

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_N - t_M| = |1 - 1,02| = 0,02 \text{ s} \quad (3.9)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_N} \cdot 100 = \frac{0,02}{1} = 2,00 \% \quad (3.10)$$

Tab. 3-7 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $1 \div 0,1$ s

U	t_N	t_M	Δ	δ
(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
150	1	1,01	0,01	1,00
150	0,9	0,91	0,01	1,11
150	0,8	0,80	0,00	0,00
150	0,7	0,70	0,00	0,00
150	0,6	0,61	0,01	1,67
150	0,5	0,50	0,00	0,00
150	0,4	0,40	0,00	0,00
150	0,3	0,30	0,03	0,00
150	0,2	0,20	0,00	0,00
150	0,1	0,10	0,00	0,00

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_N - t_M| = |0,1 - 0,1| = 0,00 \text{ s} \quad (3.11)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_N} \cdot 100 = \frac{0,00}{0,1} = 0,00 \% \quad (3.12)$$

3.2 Podpět'ový stupeň

3.2.1 Nezávislá charakteristika

Tab. 3-8 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $120 \div 10$ s

U	t_N	t_M	Δ	δ
(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
70	120	122,31	2,31	1,93
70	110	111,79	1,79	1,63
70	100	101,68	1,68	1,68
70	90	91,2	1,20	1,33
70	80	81,09	1,09	1,36
70	70	70,99	0,99	1,41
70	60	60,19	0,19	0,32
70	50	50,81	0,81	1,62
70	40	40,56	0,56	1,40
70	30	30,19	0,19	0,63
70	20	20,00	0,00	0,00
70	10	10,01	0,01	0,10

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_N - t_M| = |10 - 10,01| = 0,01 \text{ s} \quad (3.13)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_N} \cdot 100 = \frac{0,01}{10} = 0,10 \% \quad (3.14)$$

Tab. 3-9 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $12 \div 1$ s

U	t_N	t_M	Δ	δ
(V)	(s)	(s)	(s)	(%)
70	12	12,25	0,25	2,08
70	11	11,22	0,22	2,00
70	10	10,15	0,15	1,50
70	9	9,11	0,11	1,22
70	8	8,07	0,07	0,88
70	7	7,10	0,10	1,43
70	6	6,06	0,06	1,00
70	5	5,09	0,09	1,80
70	4	4,07	0,07	1,75
70	3	3,04	0,04	1,33
70	2	2,01	0,01	0,50
70	1	1,00	0,00	0,00

Příklad výpočtu:

Absolutní chyba:

$$\Delta = |t_N - t_M| = |1 - 1| = 0,00 \text{ s} \quad (3.15)$$

Relativní chyba:

$$\delta = \frac{\Delta}{t_N} \cdot 100 = \frac{0,00}{1} = 0,00 \% \quad (3.16)$$

4 Zhodnocení naměřených výsledků

U přepětového stupně jsem ověřil nejdříve pracovní režim časově závislý. Kontroloval jsem křivky vypínací charakteristiky A a charakteristiky B. Hodnotu startovacího napětí jsem pomocí spínačů nastavil na 100 V. Křivku vypínací charakteristiky A jsem proměřil od 155 do 110 V. Měřením jsem zaznamenal jednotlivé vypínací časy. Podle vzorce a hodnot, které udává výrobce, jsem vypočítal teoretické vypínací časy. Z naměřených a vypočtených hodnot jsem stanovil absolutní chybu. Jako skutečnou hodnotu jsem bral teoretický vypočítaný čas. Naměřená hodnota byla zaznamenána laboratorními stopkami. Z chyby absolutní jsem vypočítal chybu relativní. Stejně jsem postupoval i při kontrole vypínací charakteristiky B. Relativní chyba se pohybuje od 0 do 2,02 %. Výrobce udává přesnost doby působení $\pm 2 \%$ z nastavené hodnoty. Naměřené hodnoty odpovídají hodnotám, které udává výrobce. Pro názornost jsem sestrojil z naměřených a vypočtených vypínacích časů pro jednotlivé charakteristiky grafy. Křivky naměřených i vypočtených hodnot se překrývají.

Následně jsem u přepětového stupně testoval časově nezávislý pracovní režim. Startovací napětí jsem nastavil pomocí spínačů na 100 V, měřené napětí na 150 V. Ověřoval jsem celkem tři rozsahy $1 \div 0,1$ s, $10 \div 1$ s a $100 \div 10$ s. Postupně jsem nastavoval na ochranném modulu teoretické vypínací časy a ze stopek odečítal časy naměřené. Pak jsem dopočítal absolutní a relativní chyby. Jako skutečnou hodnotu jsem použil nastavovaný teoretický čas, naměřenou hodnotu jsem získal odečítáním ze stopek. Relativní chyba se nacházela v rozmezí od 0 do 2,1 %. Výrobce udává přesnost doby působení $\pm 2 \%$ z nastavené hodnoty. Nepatrná odchylka relativní chyby může být způsobena nepřesností stopek nebo zpožděním, které způsobuje stykač. Všechny tři měřené rozsahy odpovídaly hodnotám, které udává výrobce ochrany.

U podpětového stupně jsem proměřil časově nezávislý pracovní režim. Hodnotu startovacího napětí jsem nastavil na 100 V a hodnotu měřeného napětí na 70 V. Postupně jsem měnil hodnoty teoretického vypínacího času od 120 do 10 s a pomocí laboratorních stopek zaznamenal skutečné časy vypnutí. Vypočítal jsem absolutní chybu. Jako skutečnou hodnotu jsem použil nastavenou teoretickou hodnotu vypnutí. Naměřená hodnota byla zjištěna pomocí stopek. Dále jsem z chyby absolutní vyjádřil chybu relativní. Stejně jsem postupoval i pro rozsah vypínacích času od 12 do 1 s. Relativní chyba se pohybovala v rozsahu od 0 do 2,08 %. Výrobce udává přesnost doby působení $\pm 2 \%$ z nastavené hodnoty. Oba kontrolované rozsahy odpovídali hodnotám, které udává výrobce ochrany.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byla kontrola vypínacích charakteristik ochranného modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5. Tato práce seznamuje čtenáře s elektrickými ochranami obecně.

První kapitola byla zaměřena na teorii, zabývala se rozbořem ochrany a jištěním. Seznámila čtenáře se základními pojmy, které se v oboru ochrany používají a požadavky, které jsou na ochrany kladeny. Byl v ní proveden popis základních členů elektrické ochrany. Obsahovala také rozdělení jednotlivých ochrany.

V další kapitole byly uvedeny charakteristické vlastnosti digitální ochrany SPAU 330 C5 a jejího ochranného modulu SPCU 3C14. Byly zde popsány základní funkce digitální ochrany a její ovládání. Dále nás seznámila s nastavením ovládacích prvků a použitím digitální ochrany.

Třetí kapitola byla praktická, zaměřena na kontrolu vypínacích charakteristik modulu SPCU 3C14 digitální ochrany SPAU 330 C5. Kontroloval jsem přepětový i podpětový stupeň. U přepětového stupně jsem proměřil časově závislou charakteristiku A a časově závislou charakteristiku B. Ověřil jsem i časově nezávislou charakteristiku přepětového stupně pro tři různé rozsahy. Firma ABB s.r.o. udává v katalogu ochrany SPAU 330 C5 v technických parametrech, že přesnost doby působení se může lišit o $\pm 2\%$ z nastavené hodnoty. Porovnal jsem tedy relativní chybu δ , kterou jsem určil z naměřených a vypočítaných hodnot, s odchylkou danou výrobcem. Relativní chyba u časově závislé charakteristiky A se pohybovala v rozmezí od 0 do 2,02 %, u časově závislé charakteristiky B od 0 do 1,92 %. U časově nezávislých vypínacích charakteristik byla relativní chyba v rozsahu od 0 do 2,1 %. Tato nepatrná odchylka mohla být způsobena zpožděním stykače nebo nepřesností laboratorních stopek. Naměřené hodnoty všech vypínacích charakteristik přepětového stupně odpovídali hodnotám, které udává výrobce.

U podpětového stupně jsem prověřil časově nezávislý pracovní režim. Kontroloval jsem časově nezávislé vypínací charakteristiky pro dva různé rozsahy. Výrobce udává, že přesnost doby působení se může lišit o $\pm 2\%$ z nastavené hodnoty. Relativní chyba časově nezávislých charakteristik se pohybovala v rozsahu od 0 do 2,08 %. Tato nepatrná odchylka mohla být způsobena zpožděním stykače nebo nepřesností laboratorních stopek. Naměřené hodnoty vypínacích charakteristik podpětového stupně odpovídali hodnotám, které udává výrobce.

Z naměřených a vypočítaných vypínacích charakteristik vyplývá, že ochrana vypíná přesně v toleranci, kterou udává výrobce. Kontrolou jednotlivých vypínacích charakteristik jsem zjistil, že není nijak poškozena její funkčnost a pracuje tedy správně.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1 Schéma spolupráce mezi chráněným objektem a ochranou [3]</i>	2
<i>Obr. 1.2 Schéma chráněného objektu</i>	3
<i>Obr. 1.3 Charakteristika závislé nadpětové ochrany</i>	13
<i>Obr. 1.4 Charakteristika nadpětové mžikové ochrany</i>	13
<i>Obr. 1.5 Charakteristika nezávislé nadpětové ochrany</i>	14
<i>Obr. 1.6 Jistič [3]</i>	16
<i>Obr. 1.7 Vypínací charakteristika jističe [3]</i>	17
<i>Obr. 2.1 Přední panel ochrany SPAU 330C [4]</i>	18
<i>Obr. 2.2 Přední panel modulu SPCU 3C14 [4]</i>	20
<i>Obr. 3.1 Schéma zapojení</i>	24
<i>Obr. 3.2 Časově závislá charakteristika A</i>	26
<i>Obr. 3.3 Časově závislá charakteristika B</i>	28

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Volba funkcí pomocí spínače SG1</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2-2 Technické parametry modulu SPU 3C14 [4]</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3-1 Hodnoty pro časově závislou charakteristiku A</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-2 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky A.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-3 Hodnoty pro časově závislou charakteristiku B</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3-4 Hodnoty pro výpočet časově závislé charakteristiky B.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3-5 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $100 \div 10$ s.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-6 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $10 \div 1$ s.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3-7 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $1 \div 0,1$ s.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3-8 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $120 \div 10$ s.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3-9 Hodnoty pro časově nezávislou charakteristiku v rozsahu $12 \div 1$ s.....</i>	<i>33</i>

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Janíček, F., Chladný V. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava, 2004.
- [2] Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
- [3] Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
- [4] Firemní literatura a katalogy firmy ABB, s.r.o.